DOI:10.11931/guihaia.gxzw201803004

蕉肥间作下微喷灌对蕉园土壤水氮动态及香蕉产量的影响

胡钧铭[1*]，黄忠华[2]，罗维钢[2]，李婷婷[1]，蒙炎成[1]，黄太庆[1]，廖婷[2]，俞月凤[1]

(1. 广西农业科学院农业资源与环境研究所，南宁 530007；

2. 南宁市灌溉试验站，南宁 530001）

摘要：为研究香蕉-粮肥兼用绿豆间作模式（简称蕉肥间作）下微喷灌对蕉园土壤水氮动态及香蕉产量的影响，试验设置 4 种不同灌溉定额处理：MSI2（900 $m^3·hm^{-2}$）、MSI3（1 350 $m^3·hm^{-2}$）、MSI4（1 800 $m^3·hm^{-2}$）、MSI5（2 250 $m^3·hm^{-2}$），以不灌溉和清耕栽培为对照。结果发现：蕉肥间作下绿豆生长期间各灌溉处理土壤棵间蒸发量均呈不同程度的下降，香蕉清耕栽培 MSI0 土壤棵间蒸发量呈上升趋势。随着灌水量的增加，香蕉棵间蒸发量逐渐增高，MSI5 棵间累积蒸发量最高达 385.6 mm，分别比 MSI2、MSI3、MSI4 高 12.2%、7.6%、4.9%，导致灌溉水利用效率降低。微喷灌处理提高表层土壤含水量，MSI2、MSI3、MSI4 和 MSI5 处理 0-30 cm 土层含水量显著高于 MSI0 和 MSI1，在 30 cm 以下，土壤含水量开始递减。微喷灌还改善土壤耕层结构，提高土壤有效氮。以 MSI2 处理土壤三相比（2:1:1）较为理想，MSI3 处理表土层有效氮含量最高。MSI4 处理产量高达 48 218 $kg·hm^{-2}$，MSI3 处理蕉果含糖量高达 25.67%。因此，蕉肥间作下通过微喷灌方式，适量灌溉有利于提高香蕉产量和改善品质。

关键词：蕉肥间作，微喷灌，土壤水氮，产量

The Effect of Mcro Sprinkler Irrigation on Soil Water and Nitrogen and Yield under Banana-mung bean Intercropping

HU Junming[1*]，Huang Zhonghua[2]，LUO Weigang[2]，LI Tingting[1]，Meng Yancheng[1]，HUANG

基金项目：农业部农业环境重点实验室开放基金项目(KLAE201504、KLAE201407)；广西农业重点科技开发项目(201526)；广西地方标准制定项目（桂质监 2015-0383）；广西农业科学院基本科研业务专项（桂农科 2018YT08、2017ZX01、2017JZ09)；南宁西乡塘科技开发项目（2014301）；桂林市科技开发项目（20150115-1）[Supported by Open Fund of Key Laboratory for Agricultural Environment(KLAE201504、KLAE201407);Guangxi Agricultural Key Science and Technology Development Project(201526);Guangxi Local Standard-Setting Project(2015-0383);Foundamental Research Fund of Guangxi Academy of Agricultural Sciences(2018YT08、2017ZX01 、 2017JZ09); Nanning Xixiangtang Project Science and Technology(2014301) ； Guilin Project Science and Technology(20150115-1)]

作者简介：胡钧铭（1974-），男，江苏宿迁人，博士，副研究员，主要从事农业有机资源利用与生境调控研究，（E-mail）jmhu06@126.com。*通讯作者。

Taiqing，LIAO Ting[2]，YU Yuefeng[1]
(1. *Agricultural Resource and Environment Research Institute, Guangxi Academy of Agricultural Sciences*, Nanning 530007,China; 2. *Nanning Irrigation Experiment Station* , Nanning 530001,China)

Abstract: Banana is a tropical herb, and it is in great demand for water. Micro sprinkler irrigation is an important water-saving irrigation method, which is widely used in modern banana production. Green manure is the essence of traditional agriculture. Banana intercropping green manure is conducive to the utilization of light and heat space resources and soil improvement. In this study, we intercropped bananas with grain and green beans, used micro sprinkler irrigation (MSI)mode, and set 4 different irrigation quotas:MSI2（900 $m^3 \cdot hm^{-2}$）、MSI3（1 350 $m^3 \cdot hm^{-2}$）、MSI4（1 800 $m^3 \cdot hm^{-2}$）、MSI5（2 250 $m^3 \cdot hm^{-2}$）, with no irrigation and clean cultivation as control, to learn the effects of water and nitrogen and yield under micro sprinkler irrigation. The results showed that: during the growth of mung bean, the banana evaporation of different irrigation treatments decreased in different degrees, while the evaporation of the clean cultivation mode(MSI0) was found a trend of rising. With the increase of irrigation amount, the banana evaporation in banana and green manure intercropping systems gradually increased, resulting in reduced water use efficiency. The cumulative soil evaporation of MSI5 was 385.6mm, which was 12.2%, 7.6%, 4.9% higher than that of MSI2, MSI3 and MSI4 respectively. Micro-sprinkler irrigation can improve the surface soil moisture content, which the soil moisture content of MSI2, MSI3, MSI4, MSI5 under 0-30 cm soil layer was significantly higher than MSI0, MSI1, while below30 cm, soil moisture began to decrease. Micro-sprinkler irrigation under banana-mung bean intercropping can ameliorate the structure of tillage, and enhance soil fertility. Three-phase ratio (2:1:1) of 900m^3/ha(MSI2)was the ideal pattern, the topsoil available nitrogen content of 1350$m^3 \cdot hm^{-2}$(MSI3)was the highest, the highest yield of MSI4 reached 48218 $kg \cdot hm^{-2}$, and the optimal sugar content of MSI3 was up to 25.67%. From the above, appropriate irrigation is conducive to the improvement of banana soil habitat and increasing yield under banana-mung bean intercropping.

Key words: banana-mung bean intercropping, micro sprinkler irrigation, soil water and nitrogen, yield

香蕉栽培中常采用宽行距、大株距清耕定植，植株间空隙大，地表裸露空间大，由于太阳辐射强，土壤水分蒸发量大，极易引发旱灾，已成为制约香蕉生产的重要因素(邱继水等，2007)。香蕉作为亚热带重要的优良经济水果，随着香蕉市场经济效益的突显，香蕉生产中过分依赖化肥提高单产尤为普遍。间作套种是我国传统农业的精髓（李隆，2013；刘子凡等，2016），豆科和非豆科植物间作套可增加土壤生物固氮、提升土壤肥力（Fastie，1995；Kamruzzaman & Hasanuzzaman，2008；李隆，2013）。香蕉间作是充分利用香蕉林下土地光热空间资源，增加绿色覆盖，有利于改善蕉园环境，促进轮作休耕，增加经济效益的高效种植模式。香蕉属热带大型草本植物，对水分需求量大，微喷灌是一种重要的节水灌溉方式，已广泛用于现代蕉园生产中（刘朝晖等，2009；张学军等，2009；臧小平等，2014）。

绿肥和秸秆还田是用养结合，支撑国家化肥减量行动的重要手段（郑元红等，2009；袁嫚嫚等，2011）。传统绿肥以翻压还田为主，就香蕉间作绿肥模式而言，由于香蕉根系主要

分布在地表浅层，伸展范围大，绿肥就地翻压难度大。广西农业科学院选育的粮肥兼用绿豆作为一种优良的豆科绿肥植物，根系固氮能力强，籽粒收获后仍青枝绿叶，养分含量高，是热区夏季较为理想的绿肥品种。香蕉后期遮阴效应及水肥一体化生长环境为绿肥覆盖还田提供了充足的腐解和养分释放条件。目前，关于微喷灌对蕉肥间作土壤环境生态效应和产量、品质的影响鲜有报道，本研究在香蕉-粮肥兼用绿豆间作（简称蕉肥间作）模式下，通过设置不同微喷灌灌溉定额处理，待绿豆成熟期收获豆荚后，刈割地上部鲜株直接覆盖还田，研究微喷灌对土壤水氮动态及香蕉产量和品质的影响，明确蕉肥间作下微喷灌的效应，旨在为香蕉节水灌溉和减施化肥技术提供指导。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验于 2014-2015 年在南宁市灌溉试验站内试验基地进行，试验区前茬作物为果蔗，没有做过水肥试验，地势平坦，肥力均匀，土壤为第四纪红色黏土发育的红壤土，其 pH 值为 5.9，有机质含量为 21.36 g·kg^{-1}，碱解氮含量为 95.82 mg·kg^{-1}，速效磷含量为 62.68 mg·kg^{-1}，速效钾含量为 278.91 mg·kg^{-1}，全氮含量为 1.25g·kg^{-1}，全磷含量为 0.86 g·kg^{-1}，全钾含量为 3.2 g·kg^{-1}。田间持水量为 26.68%，容重 1.38 g·cm^{-3}。试验区地处 22°53′7″N，108°17′48″E，属于季风性气候区，多年平均气温 22.9 ℃，年降雨量 1274.2 mm。试验地 2014 年为新植蕉，2015 年为留芽蕉，蕉肥间作期逐日降雨和气温见图 1，降雨和气温变化属正常自然年份。

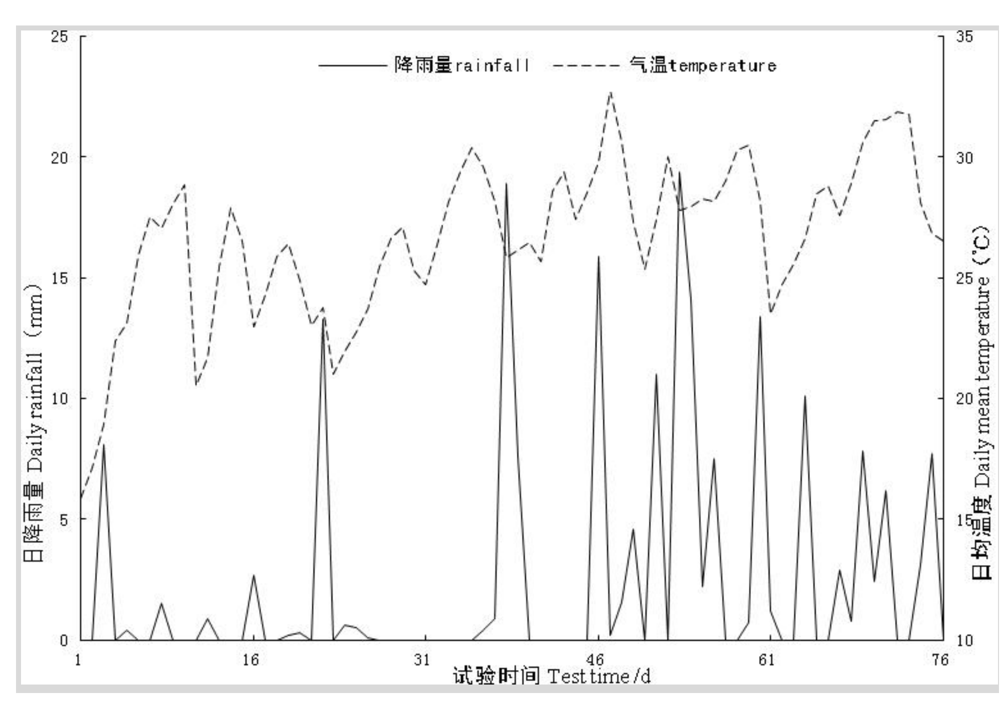


图 1　试验期间日均气温和降雨量

Fig. 1　Average daily temperature and rainfall during the test

1.2 试验材料

香蕉品种选用“威廉斯 B6”，采用深沟宽行种植，行距 2.4 m，株距 2.2 m，每 666.7m^2 控制密度 125 株，按大田香蕉栽培进行正常管理；间作绿肥选用广西农业科学院农业资源与环境研究所选育的粮肥兼用绿豆品种“桂绿豆 5 号”，以 37.5 kg·hm^{-2} 浅锄撒播方式间种于香蕉行间空隙地带，绿豆边幅距香蕉 30 cm，绿豆种植不施肥，按常规田间管理进行，待豆荚收获后，刈割地上部植株直接覆盖还田。香蕉移栽后在根区附近地表安装微喷灌设施，铺设直径 63 mm、出水孔 3 孔、流量 20-30 L·h^{-1} 的微喷带，在灌溉过程中微喷带出水均匀，绿

肥生育进程株高及绿肥覆盖对微喷灌无交互影响。

1.3 试验方法

试验设置 4 种不同微喷灌灌溉定额处理， MSI2（900 $m^3·hm^{-2}$）、MSI3（1 350 $m^3·hm^{-2}$）、MSI4（1 800 $m^3·hm^{-2}$）、MSI5（2 250 $m^3·hm^{-2}$），以 MSI1（不灌溉 CK）和香蕉清耕栽培 MSI0(CK)为对照，蕉肥间作期微喷灌灌溉定额见表 1。试验地总面积 2 000 m^2，采用深沟宽行大区种植，3 次重复，随机排列，绿豆种植前及收获后各处理灌水量相同，间作期间灌溉定额见表 1。

表 1 蕉肥间作微喷灌定额

Tab.1 Irrigation quota of micro-irrigation under banana-mung intercropping

处理 Treatment	灌溉定额 Irrigation quota（$m^3·hm^{-2}$）				
	出苗期 Emergence stage	始花期 First flowering stage	盛花期 Full-bloom stage	结荚期 Bearing pod stage	累积量 Accumulation
MSI0（CK1）	—	—	—	—	—
MSI1（CK2）	—	—	—	—	—
MSI2	225	225	225	225	900
MSI3	337.5	337.5	337.5	22.5	1350
MSI4	450	450	450	450	1800
MSI5	562.5	562.5	562.5	562.5	2250

1.4 测定项目及方法

棵间蒸发量：在绿豆种植前每个试验区中间安放微型蒸渗仪，每天早上 8:00-9:00 用百分之一天平称重，前后两天称量之差为棵间蒸发量（汪顺生等，2012）。

土壤含水量：在绿豆齐苗期、盛花期、结荚期、收获后测定，深度为 10-100 cm，每 10 cm 为 1 层，用烘干法测定。

土壤三相比：绿豆收获后覆盖还田前取 0-20 cm 耕作层土壤，测含水率、容重和孔隙度，计算气相、液相、固相比例（陈立新，2005）。

土壤有效氮：选择在绿豆始花期、结荚期、覆盖还田后 10 d、覆盖还田后 20 d 挖取 10-90 cm 剖面深度的土壤，风干后用碱解扩散法测定（鲍士旦，2000）。

香蕉产量：香蕉收获时各试验区分别测产，再换算成每公顷产量。

蕉果可溶性总糖测定用蒽酮比色法(张宪政，1992)。

1.5 数据处理

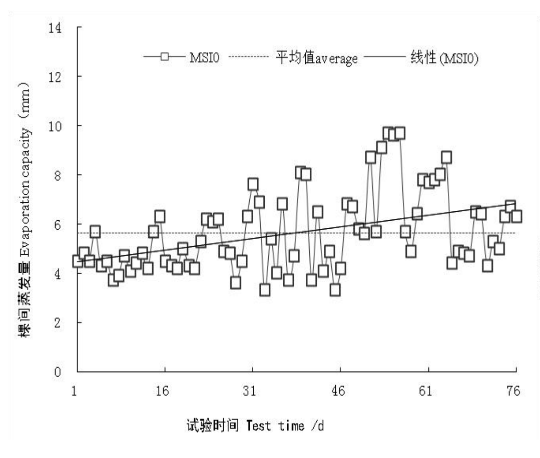
采用 Microsoft Excel 2003 和 DPS6.55 进行数据处理、统计分析和制图，其中土壤三相比、有效氮、香蕉产量、品质为蕉肥间作第 2 年田间数据。多重比较采用 Tukey 法。

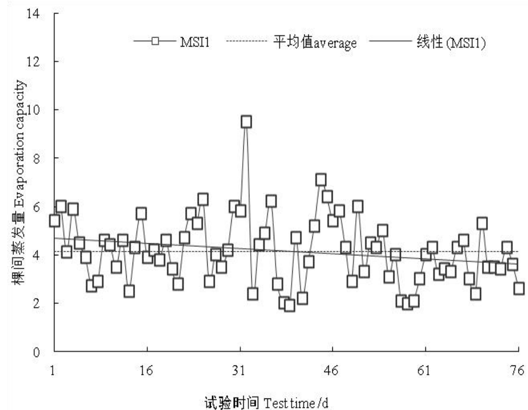
2 结果与分析

2.1 蕉肥间作下微喷灌土壤棵间蒸发动态

作物棵间蒸发受降雨、灌溉、温度、日照、地表植被等因素的影响（孙仕军等，2014），由图 2 可知，蕉肥间作下微喷灌处理棵间蒸发呈不同程度下降趋势，而香蕉清耕栽培 MSI0 则呈波动上升，其棵间累积蒸发量达 429.7 mm。随着灌水量增加，棵间累积蒸发量增加。以 MSI1 棵间累积蒸发量最低，达 315.97 mm，而以 MSI5 为最高。达 385.6 mm，分别比 MSI2、MSI3、MSI4 高 12.2%、7.6%和 4.9%。绿豆种植期为 4 月上旬，温度在 21.5℃左右，日照不强烈，此时 MSI0 和 MSI1 的棵间蒸发量较低，其他各处理由于在绿豆播种后第 2 d 进行灌溉，土壤湿度大，因而棵间蒸发量相对较高。试验根据降雨情况在第 31、43、63 d

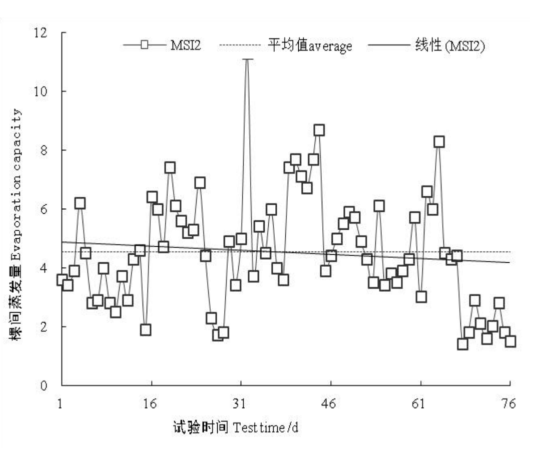
灌水，因此翌日 MSI2、MSI3、MSI4、MSI5 处理棵间蒸发量均出现极高的突变值，到结荚和收获期，此时已进入夏季，太阳辐射增强，温度升高，且香蕉仍处于营养生长初期，冠层叶片不能完全覆盖地表，因此 MSI0 棵间蒸发强烈，蒸发量高。其他处理由于绿豆的遮盖，棵间蒸发量显著低于 MSI0，间种绿豆明显减少地表水分蒸散量。

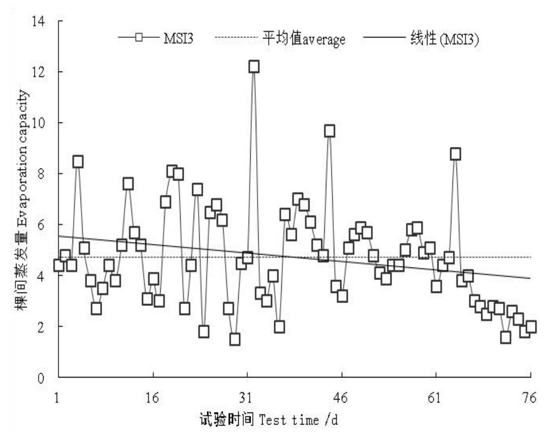




（a）MSI0 处理香蕉棵间蒸发量　　（b）MSI1 处理香蕉棵间蒸发量

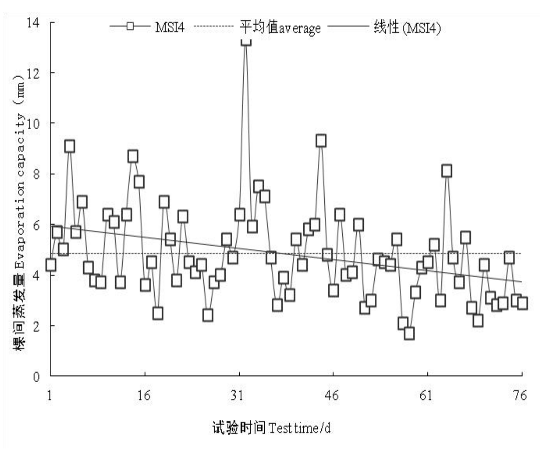
（a）Banana the evaporation capacity of MSI0　　(b)Banana the evaporation capacity of MSI1

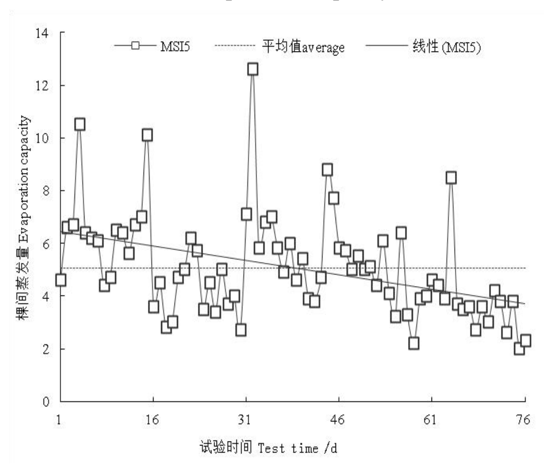




(c)MSI2 处理香蕉棵间蒸发量　　（d）MSI3 处理香蕉棵间蒸发量

（c）Banana the evaporation capacity of MSI2　　（d）Banana the evaporation capacity of MSI3





（e）MSI4 处理香蕉棵间蒸发量　　（f）MSI5 处理香蕉棵间蒸发量

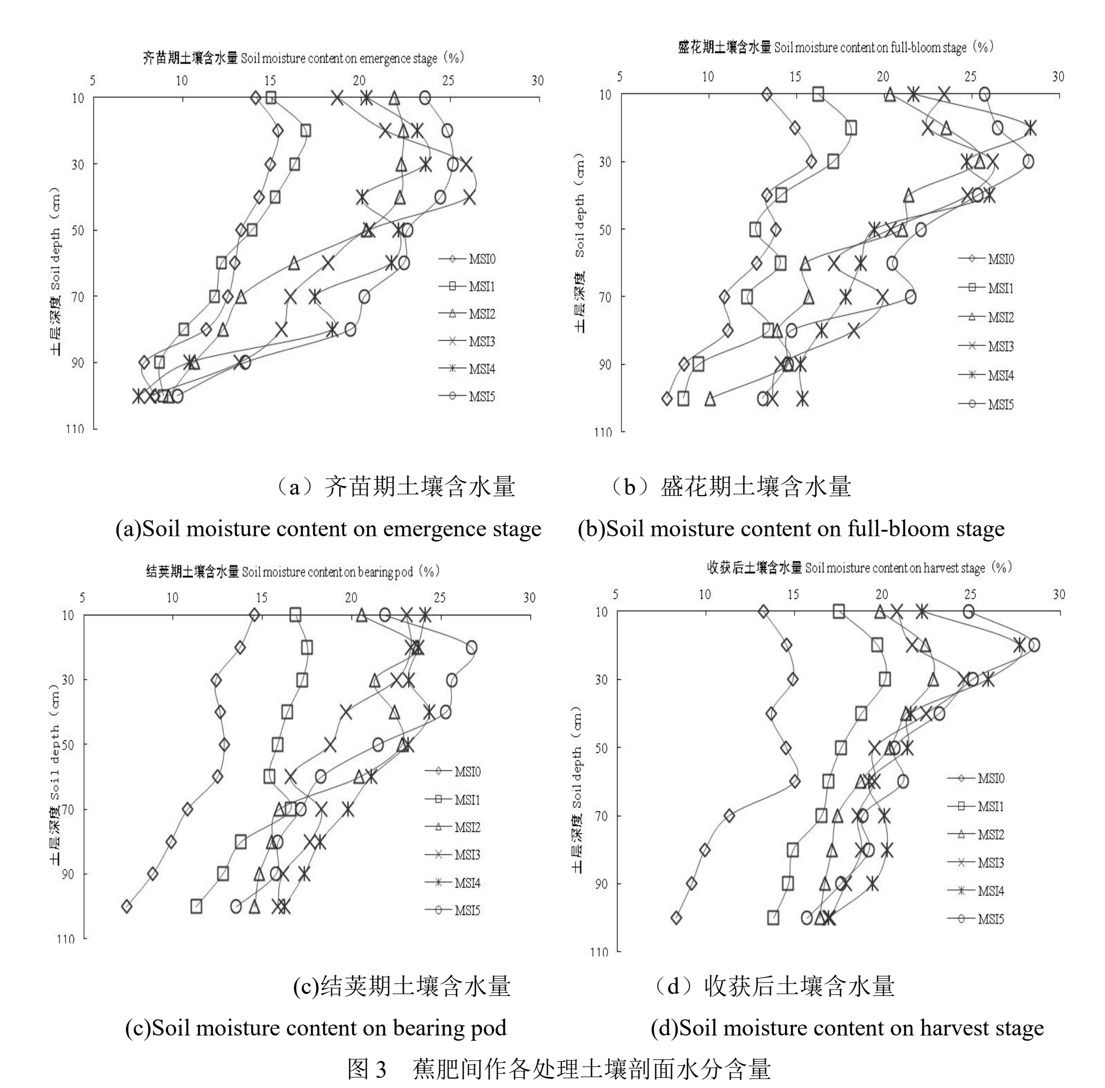
（e）Banana the evaporation capacity of MSI4　　（f）Banana the evaporation capacity of MSI5

图 2 各处理香蕉棵间蒸发量

Fig. 2　Banana the evaporation capacity of all treatments

2.2 蕉肥间作下微喷灌土壤水分动态

在微喷灌作用下，MSI2、MSI3、MSI4、MSI5 处理 0-30 cm 土层的水分含量明显高于 MSI1 和 MSI0（图 3），在 40 cm 以下，土壤含水量开始递减，但仍处于较高水平。由于水分下渗的影响，MSI2、MSI3、MSI4、MSI5 各处理在 30-60 cm 土层的含水量仍高于 MSI1 和 MSI0。随着土层的加深，各灌溉处理的水分含量逐渐降低。当土壤深度达 100 cm 时，各处理的水分含量趋于相同。在粮肥兼用绿豆盛花期，由于粮肥兼用绿豆的遮盖作用，在不灌溉条件下，MSI1 处理在 0-30 cm 土层的含水量高于 MSI0，30 cm 以下二者相差不大。蕉肥间作下各灌溉处理在 0-20 cm 土层的含水量较高，其中 MSI4、MSI5 高于 MSI2 和 MSI3。随着土壤深度的增加，各灌溉处理的水分含量有所下降，但整体上仍高于 MSI1 和 MSI0。在绿豆结荚期和收获后，MSI1 处理不同层次的土壤含水量均高于 MSI0。由此可知，香蕉间作绿豆能提高土壤持水量，具有较好的蓄水保墒作用。



（a）齐苗期土壤含水量　　（b）盛花期土壤含水量

(a)Soil moisture content on emergence stage　(b)Soil moisture content on full-bloom stage

(c)结荚期土壤含水量　　（d）收获后土壤含水量

(c)Soil moisture content on bearing pod　(d)Soil moisture content on harvest stage

图 3　蕉肥间作各处理土壤剖面水分含量

Fig.3 Soil profile moisture content of each treatment banana-mung intercropping

2.3 蕉肥间作下微喷灌土壤耕作层三相比

土壤三相比是评价土壤水、肥、气、热相互关系的重要参数。由表 2 显示，蕉肥间作条件下，各灌溉处理的液相和气相比例均有明显的提高，但随着灌水量的增加，土壤液相比例不断升高，而气相比例有所下跌，液相中 MSI5 达极限值水平，气相中各处理均比对照组 MSI1、MSI0 达差异显著水平，适宜灌溉有助于提高土壤气相水平。MSI1 处理土壤气相和

液相均比 MSI0 要高，尤其是气相极显著高于 MSI0，而 MSI0 土壤固相偏大，气相和液相比例偏低，呈紧实粘重的状态，可能是地表水分蒸发较强烈的缘故，可见在蕉园间种绿豆具有疏松土壤、增强土层通透性的良好效果。理想的土壤三相比是固相 50%，液相和气相各 25%（Herrmann＆Witter，2002），蕉肥间作中 MSI2 处理固相 49.4%、液相 26.5%、气相 23.3%，土壤三相比约为 2:1:1，由此可知，蕉肥间作每公顷 900 m^3 微喷灌对土壤耕层结构的影响接近理想状态。

表 2　蕉肥间作各处理土壤三相比（%）

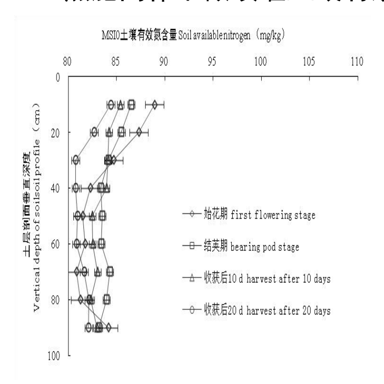
Tab.2　Three phase ratio of soil under each treatment banana-mung intercropping

处理 Treatment	MSI0（CK1）	MSI1（CK2）	MSI2	MSI3	MSI4	MSI5
固相 Solid phase	66.6aA	55.6bB	49.4cC	47.5cdCD	44.5deCD	42.0eD
液相 Liquid phase	20.5dD	22.5dCD	26.5cBC	28.8bcB	30.5bB	36.5aA
气相 Vapor phase	12.5dD	21.2cC	23.3abAB	24.7aAB	24.0 aAB	22.3bcBC

注：同一列数据不同字母表示处理间差异显著水平（$P < 0.05$）和极显著水平($P < 0.01$)（n=3）。

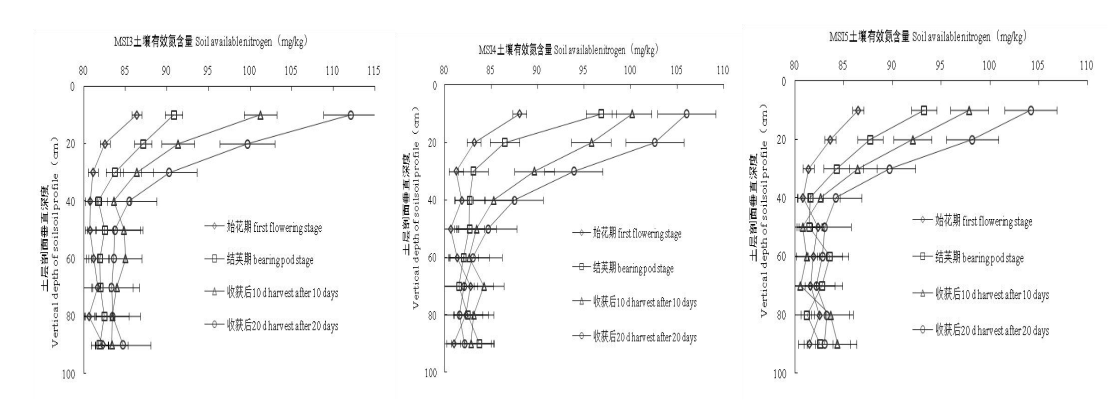
Note： Data followed by different letters mean significant differences（$P < 0.05$）and extremely significant differences ($P < 0.01$) (n = 3).

2.4 蕉肥间作下微喷灌土壤有效氮含量变化



（a）MSI0 处理土壤有效氮　（b）MSI1 处理土壤有效氮　（c）MSI2 处理土壤有效氮

(a)Soil available nitrogen of MSI0　(b)Soil available nitrogen of MSI1　(c)Soil available nitrogen of MSI2



（d）MSI3 处理土壤剖面有效氮　（e）MSI4 处理土壤剖面有效氮　（f）MSI5 处理土壤剖面有效氮

(d)Soil available nitrogen of MSI3　(e)Soil available nitrogen of MSI4　(f)Soil available nitrogen of MSI5

图 4 不同处理对土壤剖面有效氮的影响

Fig.4　Effects of different treatments on soil profile available nitrogen

从土层纵向剖面角度来看（图 4），在土壤深度 40 cm 以下，各个处理有效氮含量差异不大，基本上在 80-84 mg·kg^{-1} 之间，而 30 cm 以上土层的有效氮含量受试验处理的影响较大。MSI0 10-30 cm 层次的有效氮含量随时间的推移而缓慢降低，收获 20 d 后，有效氮含量与始花期相比，下降 5.1%左右。由于 MSI0 土壤没有外源氮素补充，其氮含量的减少可能是根系吸收所致。MSI1 处理表土层有效氮含量变化趋势与 MSI0 相反，始花期较低，绿肥秸秆覆盖还田 20 d 后提高了 19.0%，一方面是绿豆根瘤菌固定的氮素释放到土壤中增加氮的含量，另一方是粮肥兼用绿豆秸秆腐解释放养分至耕层土壤。MSI2、MSI3、MSI4、MSI5 各处理表层土壤有效氮含量也表现出类似的变化趋势，收获 20 d 后分别提高 23.4%、29.8%、20.4%、20.5%。综上所述，不同处理表层土壤有效氮含量较高，随着剖面深度的增加，有效氮含量依次递减，当到达土壤深度 40 cm 以下时，土壤氮含量受影响较小，基本处于恒定的本底值水平。

2.5 蕉肥间作下微喷灌对香蕉产量和品质的影响

对蕉肥间作定位试验第二年不同处理的香蕉产量、品质分析发现（图 5），以地表裸露清耕栽培不灌溉处理产量最低，蕉园间种绿豆不灌溉 MSI1 处理的香蕉产量比清耕栽培高 5.8%，蕉肥间作灌溉处理的香蕉产量均高于清耕栽培，其中 MSI4 处理产量最高，分别比 MSI2、MSI3、MSI5 高 8.4%、4.0%、6.1%。由此可知，在间种绿豆的情况下，灌水量达到 MSI4 定额时增产效果最好。本试验以可溶性总糖含量为主要指标代表蕉果品质，地表裸露清耕栽培不灌溉香蕉总糖含量处于最低水平，间种绿豆不灌溉 MSI1 处理的香蕉总糖含量极显著高于清耕栽培。在各灌溉处理中，MSI3 处理香蕉总糖含量最高，比 MSI2 高 7.1%。随着灌水量的加大，香蕉总糖含量持续下降，与 MSI3 相比，MSI4、MSI5 分别降低 9.0%、12.3%。

（a）蕉肥间作香蕉产量　　（b）蕉肥间作蕉果总糖含量

（a）Banana yield of banana-mung intercropping　（b）The soluble sugar content of banana-mung intercropping

图 5 蕉肥间作各处理香蕉产量及总糖含量

Fig.5　Banana yield and soluble sugar content of different treatments banana-mung intercropping

3 讨论

蕉肥间作有利于抑制蕉园棵间蒸发。棵间蒸发发生在土壤-植物界面蒸散，不参与作物生长发育，是土壤水分的无效散失（景明等，2010），棵间蒸发在农田蒸发蒸腾量中占有很大的比例，抑制棵间蒸发是提高作物用水效率的有效措施（吴普特等，2006）。生产上常用玉米、小麦秸秆等植被覆盖来降低棵间水分损失，覆盖植被可隔开土壤和大气的接触，减轻太阳辐射和刮风的影响，因而棵间蒸发量要明显低于裸地（Denisov et al, 2002；Diaz et al, 2005；冀宏等，2010）。本研究发现在绿豆生长期间香蕉棵间蒸发量呈波动下降的趋势，与不种绿豆相比，降低 26.3%，而表土层水分含量逐渐增加，绿豆收获后达到约 20.5%的湿润

水平，与土壤表面增加覆盖物相比，蕉肥间作既能利用香蕉园林下空间资源，增加地表绿色植被覆盖度，减少裸露地表太阳辐射水分蒸发，蕉肥间作具有增湿保墒的效果。

微喷灌能提高蕉肥间作土壤表层含水量。土壤水分是土壤中水溶性成分的运输载体（李保国译，2014），微喷灌类似自然降雨形式将水分从冠层均匀撒入进入植物根系，节水灌溉追求以最低限度的用水量获得最大的产量或收益（周新国等，2002）。本试验发现，在间种绿豆的情况下进行不同定额的灌溉，会增大土壤湿度，但由于粮肥兼用绿豆茎杆初壮、植株高大，遮挡太阳照射，其棵间蒸发量与对照相比也有不同程度的降低，表层土壤水分含量长时间维持在 22.0%以上的水平，说明微喷灌能提高表层土壤的水分含量，而水分渗漏则影响深层土壤的水分分布，过多的灌溉会增加棵间蒸发量，降低水分的利用率，间作绿豆起到蓄水保水的作用，要注意控制灌溉水量，防止水资源的流失浪费。这与吕丽华等（2007）、李金鹏等（2016）、宜丽宏等（2017）研究结果较为一致。

蕉园间作利于改善土壤耕层结构。间作体系中作物组合和适当的农艺措施选择是间套作成功的关键因素（Brooker et al，2015），康绍忠院士团队（1997）发现间种作物不仅增强土壤蓄水能力，而且作物根系的收缩会使土壤产生孔隙，提高气相比例，达到疏松土层的效果。本研究中蕉园间套绿豆后，土壤气相比呈明显增高，有助于改善土壤耕层结构，随着灌水量的增加，土壤液相比例不断升高，而气相比例有所下跌，这可能是灌水量过大易产生淹泽效应，而间种绿豆则会加剧这种效应的产生，使土壤三相比变得不合理。

蕉肥间作适度灌溉有利于增加土壤氮供给，提升香蕉产量，改善香蕉品质。间作体系中豆科根瘤固氮及化感作用有利于调控土壤生境，提高土壤有效氮含量（Suman et al, 2006），本试验中连续两年定位研究中发现，蕉肥间作并覆盖还田条件下微喷灌有助于提高土壤有效氮含量，30 cm 以上耕层土壤有效氮含量随时间的推移而逐渐增高，蕉肥间作微喷灌模式下每公顷水灌溉定额 1350 m^3 产量最高，每公顷水灌溉定额 1800 m^3 品质最佳，这可能是灌溉增强了粮肥兼用绿豆的长势，土壤产生更多的根瘤菌固定氮素，也可能是灌溉与绿肥覆盖还田腐解改善了土壤物理性质，改变土壤耕作层结构，促进土壤矿质氮素的释放，促进香蕉根系对养分的吸收和地上部植株生长，增加了光合物质向香蕉转移。香蕉产量提高和品质改善是微喷灌单因素作用还是微喷灌与绿肥覆盖还田水肥耦合交互效应影响，还有待于进一步验证。

4 结论

蕉肥间作微喷灌处理的土壤棵间蒸发量呈不同程度的下降状态，对照无绿豆间作未灌溉的土壤棵间蒸发量呈上升趋势。蕉肥间作下微喷灌处理能提高表层土壤含水量，改善香蕉耕层结构，提高土壤肥力，其中每公顷 900 m^3 微喷灌处理土壤三相比最佳状态，每公顷 1 350 m^3 微喷灌处理表土有效氮含量最高，每公顷 1 800 m^3 产量最高，每公顷 1 350 m^3 品质最佳。蕉肥间作下适量微喷灌能提高香蕉产量、改善品质。蕉肥间作下微喷灌是一种重要绿色增效技术，适量灌溉有助于香蕉减施化肥和节水灌溉，促进绿色香蕉产业化发展。

参考文献

BROOKER RW, Bennett AE, Cong WF, et al, 2015.Improving intercropping: A synthesis of research in agronomy, plant physiology and ecology[J]. NP, 206(1): 107-117.

DENISOV YM , SERGEEV AI , BEZBORODOV GA , et al, 2002. Moisture evaporation from bare soils[J]. Irrig Drain Syst, 16(3): 175-182.

DIAZ F, JIMENEZ CC, TEJEDOR M, 2005. Influence of the thickness and grain size of tephra mulch on soil water evaporation[J] . Agr Water Mange , 74(1):47-55.

FASTIE CL, 1995 Causes and ecosystem consequences of multiple pathways of primary succession at Glacier Bay, Alaska[J]. Ecol, 76(4): 1899-1916.
HERRMANN A, WITTER E, 2002. Sources of C and N contributing to the flush in mineralization upon freeze-thaw cycles in soils[J]. Soil Biol Biochem , 34:1495-1505.
KAMRUZZAMAN M, HASANUZZAMA M, 2007. Factors affecting profitability of sugarcane production as monoculture and as intercrop in selected areas of Bangladesh [J]. Bangladesh J Agr Res, 32(3):433-444.
SUMAN A, LALM, SINGH AK, et al, 2006. Microbial biomass turnover in Indian subtropical soils under different sugarcane intercropping systems[J]. Agron J, (98):698-704.
BAO S D,2010. Soil Agricultural Chemistry Analysis[M]. Beijing: Agricultural Press of China, 30-34. [鲍士旦. 2010. 土壤农化分析[M]. 北京：中国农业出版社, 30-34.]
CHEN LX,2005. Soil Experiment Practice Course[M]. Haerbin: Northeast Forestry University Press ,19-189. [陈立新. 2005. 土壤实验实习教程[M]. 哈尔滨：东北林业大学出版社, 19-189.]
CHEN SY, ZHANG XY, SUN HY, et al, 2013. Cause and mechanism of winter wheat yield reduction under straw mulch in the North China Plain[J]. Chin J Eco-Agr, 21(5): 519-525. [陈素英，张喜英，孙宏勇，等, 2013. 华北平原秸秆覆盖冬小麦减产原因分析[J]. 中国生态农业学报, 21(5): 519-525.]
DAVID M(Edited), LI BG, HUANG F(Translation), 2014. Water for Food and Life-A Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture[M]. Tianjin Media Group[大卫. 莫登编著. 李保国，黄峰译， 2014. 水与可持续发展-未来农业用水对策方案及综合评估[M]. 天津传媒集团.]
HE WQ, YAN CR, ZHAO CX, et al, 2009. Study on the pollution by plastic mulch film and its countermeasures in China[J]. J Agro-Environ Sci , 28(3): 533-538.[何文清，严昌荣，赵彩霞，等, 2009. 我国地膜应用污染现状及其防治途径研究[J]. 农业环境科学学报, 28(3): 533-538.]
JI H, HUANG X, ZHENG J, et al, 2010. Effect of different mulching conditions on soil moisture evaporation[J].Water Saving Irrig, (4):29-32.[冀宏，黄雄，郑健，等, 2010. 不同覆盖条件对土壤水分蒸发的影响[J]. 节水灌溉, (4): 29-32.]
JING M, JIANG BZ, ZHANG HM, et al, 2010.Effect of different mulching materials to soil evaporation of spring wheat in aid region[J]. J Water Resour &Water Eng, 21(2): 92-95, 99. [景明，姜丙州，张会敏，等, 2010. 不同覆盖材料对干旱区春小麦棵间蒸发的影响[J]. 水资源与水工程学报， 21(2): 92-95, 99.]
KANG SZ, ZHANG JH, 1997. Hydraulic conductivities in soil-root system and relative importance at different soil water potential and temperature[J]. Trans CSAE, 1(1): 77-81. [康绍忠，张建华, 1997. 不同土壤水分与温度条件下土根系统中水分传导的变化及其相对重要性[J]. 农业工程学报, 1(1): 77-81.]
LI J, WANG ZM, ZHANG Q, et al, 2016. Effect of micro-sprinkling irrigation and nitrogen application rate on grain filling and nitrogen uptake and utilization in winter wheat[J]. J North China Agr Univ, 31(S1): 1-10.[李金鹏，王志敏，张琪，等, 2016. 微喷灌和氮肥用量对冬小麦籽粒灌浆和氮素吸收利用的影响[J]. 华北农学报, 31(S1): 1-10.]
LI L,2013.The Ecological Principles and Application of Biological N2 Fixation in Legumes-based Intercropping Systems[M].Beijing: China Agricultural University Press.[李隆, 2013. 间套作体系豆科作物固氮生态学原理与应用[M]. 北京：中国农业大学出版社.]
LIU ZH, FAN ZL, HE LF, et al, 2009. Effects of different irrigation methods on the yield and quality of banana[J]. Guangxi Agric Sci, 40(11): 1470-1472. [刘朝晖，范稚莲，何龙飞，等, 2009.

不同灌溉方式对香蕉根系产量和品质的影响[J]. 广西农业科学, 40(11): 1470-1472.]
LIU ZF, HUANG J, WEI YX, et al, 2016. Effect of yield performance and Economic returns in different cassava/peanut intercropping system[J]. Chin J Trop Crops, 37(1): 65-69. [刘子凡, 黄洁, 魏云霞, 等, 2016. 不同木薯/花生模式下的产量表现及其经济产出研究[J]. 热带作物学报, 37(1): 65-69.]
LV LH, HU YK, LI YM, et al, 2007. Effect of irrigating treatments on water use efficiency and yield of different wheat cultivars[J]. J Trit Crops, 27(1): 88-92.[吕丽华, 胡玉昆, 李雁鸣, 等, 2007. 灌水方式对不同小麦品种水分利用效率和产量的影响[J]. 麦类作物学报, 27(1): 88-92.]
QIU JS, WEI YR, YANG H, et al, 2007. Effects of micro-spray irrigation coupling with water and fertilizer on banana growth and production[J]. J Irrig Drain, 26(6): 99-101. [邱继水, 魏岳荣, 杨护, 等, 2007. 水肥耦合微喷灌对香蕉生长和产量的影响[J]. 灌溉排水学报, 26(6): 99-101.]
SONG SY, LIU WZ, WANG J, et al, 2012. Effects of different mulching modes on soil moisture, grain yield and water use efficiency in a corn field[J]. Res Soil Water Conserv, 19(2): 210-212, 217. [宋淑亚, 刘文兆, 王俊, 等, 2012.覆盖方式对玉米农田土壤水分、作物产量及水分利用效率的影响[J]. 水土保持学报, 19(2): 210-212, 217.]
SUN SJ, FAN YM, LIU YP, et al, 2014. Measurement and influencing factors of soil evaporation between plants[J]. Water Saving Irrig, (4): 79-82. [孙仕军, 樊玉苗, 刘彦平, 等, 2014. 土壤棵间蒸发的测定及其影响因素[J]. 节水灌溉, (4): 79-82.]
WANG SS, FEI L J, GAO CC, et al, 2012. Soil evaporation of summer maize under different furrow irrigations[J]. T Chin Soc Agric Mach, 43(9): 66-71. [汪顺生, 费良军, 高传昌, 等, 2012. 不同沟灌方式下夏玉米棵间蒸发试验[J]. 农业机械学报, 43(9): 66-71.]
WANG H, TU NM, 2006. Status and prospect of research on rice cultivation system[J]. Crop Res, (5): 498-503. [王辉, 屠乃美, 稻田种植制度研究现状与展望, 作物研究, (5): 498-503.]
WU PT, FENG H, ZHAO XN, et al, 2006. The conception and technology discussion of modern water saving agriculture[J]. J Irrig Drain, 25(4): 1-5. [吴普特, 冯浩, 赵西宁, 等, 2006. 现代节水农业理念与技术探索[J]. 灌溉排水学报, 25(4): 1-5.]
YI LH, WANG L, ZHANG MN, et al, 2017. Effect of irrigation methods on growth and water use efficiency of winter wheat[J]. J Irrig Drain, 36(10): 14-19. [宜丽宏, 王丽, 张孟妮, 等, 2017. 不同灌溉方式对冬小麦生长发育及水分利用效率的影响[J]. 灌溉排水学报, 36(10): 14-19.]
YUAN MM, LIU Q, ZHAGN SL, et al, 2011. Effects of biological nitrogen fixation and plow-down of green manure crop on rice yield and soil nitrogen in paddy field[J]. Acta Pedologica Sinica, 48(4): 797-803. [袁嫚嫚, 刘勤, 张少磊, 等, 2011. 太湖地区稻田绿肥固氮量及绿肥还田对水稻产量和稻田土壤氮素特征的影响[J]. 土壤学报, 48(4): 797-803.]
ZANG XP, HAN LN, MA WH, et al. 2014. Reduction fertilization for banana under unsaturated irrigation[J]. Chin Agric Bull, 30(13): 247-251. [臧小平, 韩丽娜, 马蔚红, 等, 2014.非饱和灌溉条件下香蕉施肥减量技术研究[J]. 中国农学通报, 30(13): 247-251.]
ZHANG X Z,1992. Crop Physiology Research Act[M]. Beijing: Agricultural Press of China, 117-205. [张宪政, 1992.作物生理研究法[M]. 北京:农业出版社, 117-205.]
ZHANG XJ, WU ZW, DING XM, et al, 2009. Experimental analysis of water distribution characteristics of micro-sprinkling hose[J]. Trans CSAE, 25(4):66-69. [张学军, 吴政文, 丁小明, 等, 2009. 微喷带水量分布特性试验分析[J]. 农业工程学报, 25(4): 66-69.]
ZHENG YH, PAN GY, MAO GJ, et al, 2009. Effects of different intercropping and interplant patterns of green manure on soil fertility[J]. Guizhou Agric Sci, 37(1): 79-81. [郑元红, 潘国元,

毛国军，等， 2009. 不同绿肥间套作方式对培肥地力的影响[J] . 贵州农业科学, 37(1): 79-81.]
ZHOU XG, HE JQ, GUO SL ,et al,2002. Study and application for multiple outlets hose surface irrigation technique[J]. Irrig Drain, 21(1): 55-57. [周新国，何俊卿，郭树龙，等， 2002. 多孔软管地面灌溉技术研究及应用[J]. 灌溉排水, 21(1): 55-57.]